

寒冷下の運動時および運動直後の 体温調節反応に与える衣服の影響

奈良女子大学 登倉 尋 實
(共同研究者) 同 山下 由 果
光華女子短大 緑川 知 子

Effects of Clothing on Temperature Regulation in Women during Exercise and Recovery at an Ambient Temperature of 16°C

by

Hiromi Tokura, Yuka Yamashita

*Laboratory of Physiology, Department of Clothing Sciences,
Nara Women's University*

Tomoko Midorikawa

*Department of Home Economics,
Koka Women's Junior College*

ABSTRACT

We studied the effects of fabric moisture and water transport properties on temperature regulation in women during both 30 min exercise (78 W) and 30 min recovery periods at an ambient temperature of 16°C. We found the fall of rectal temperatures significantly smaller, but that of mean skin temperatures and that of temperatures of clothing microclimate measured between back skin surface and the garments significantly greater during 30 min recovery period in the subject having worn the cotton garment (C) having good fibre moisture absorbancy than in the subject having worn the acryl garments (A) and the acryl ones with hydrophile properties (At), which have poor fibre moisture absorbancy. Five out of seven subjects preferred C to A and At as comfortable garments during

30 min recovery period. The reason for such differences occurring was discussed in view of thermal physiology and the differences of fabric moisture and heat transport properties.

要 旨

16°C の気温下で一定強度の運動を30分間持続し、その後30分間安静を保った際の体温調節反応に対する3種類のトレーニングウェア（綿、アクリル、親水性を付与したアクリル）の効果を調べた。運動後30分間の安静中に、綿トレーニングウェア着用者で直腸温の降下が有意に小さく、平均皮膚温、背中で測定した衣服内温度の降下は最も大きいことが判明した。8人の被験者のうち5人が綿のトレーニングウェアを最も快適であったと評価した。両アクリル間には有意な差は存在しなかった。これらの差異が生じる理由について、温熱生理学、衣服の諸元の観点から考察した。

1. 緒 言

運動時の体温調節反応については従来多くの研究がなされているが、そのなかで、衣服の果す役割りについては生理学の視点からの研究は極めて少ないし、また、体系的な理解には達していない。本研究は、寒冷下の運動時および運動直後の体温調節反応に対して、水蒸気・水分に対して異なる反応を示す素材のトレーニングウェアの着用

はどのような影響を与えるのかを、温熱生理学の立場から観察することを目的としている。

2. 方 法

被験者は健康な女子学生8名である。年齢21.5±0.5歳、体重52.1±11.8kg、身長159±6cm、体表面積1.51±0.12m²の身体的特徴を有していた。

実験用衣服として綿、アクリル、親水性を付与したアクリルの3種類のトレーニングウェアを選んだ。トレーニングウェアは長袖、長ズボンで衿ぐり、袖口、ズボンの裾にそれぞれゴムが入っているため密閉型になっている。下着はショーツのみで、皮膚に直接トレーニングウェアを着用した。靴下も着用した。3種の衣服素材の材料学的性質を表1に示した。

実験は、温度16±1°C、湿度65±5%に制御された人工気象室で実施された。測定した生理項目は直腸温、全身8ヶ所の皮膚温（前額、前腕、手背、胸部、背部、大腿、下腿、足背）、体重減少量である。8ヶ所の皮膚温から平均皮膚温を算出した。その他、衣服内温度を背部のレベルで測定した。

表1 Fundamental properties of the fabrics used in our present experiments

Sample	Thickness (mm)	Weight (g/m ²)	Air permeability (ml/cm ² ·sec)	Moisture regain (%), T _a :30°C, 90%RH	Height of water absorbancy (mm/10min)	Thermal conductivity (×10 ⁻⁴ cal/cm·sec·°C)
C	0.95	235	81	10.15	0	1.97
A	1.09	229	103	1.46	0	1.28
At	1.12	228	117	1.86	33	1.32

C : cotton, A : Acryl, At : Acryl treated with hydroscopic properties

実験手順は以下のとおりである。

被験者は 16°C, 65% RH に保たれた人工気象室に入室し、体重測定後、ショーツの上に、直接重量を測定したトレーニングウェアを着用する。皮膚温測定用センサーを右半身 8ヶ所の皮膚表面に貼付し、直腸温測定用センサーを直腸に 12~13 cm 挿入する。次に、衣服内温度を測定する温度センサーを背部中央に、皮膚と衣服に接触しないように取り付ける。

以上のように温度センサーを装着した後、皮膚温の安定を促す目的で、上半身には更にポリエステル 100% のトレーニングシャツを着用し、下半身には電気掛毛布を巻きつけ、約 1 時間安静を保つ。

皮膚温と直腸温の安定を確認した後、ポリエステル 100% のトレーニングシャツと靴下を脱ぎ、また、下半身より電気掛毛布をはずし、実験用トレーニングウェアのみを着用した状態で、ベットバランスの上に設置したエルゴメータに座り、運動負荷 1.8kp, 44rpm の速度で 30 分間の運動をおこなう。運動後、椅子に座りかえて 30 分間安静を保つ。

以上で測定を終了し、被験者は脱衣し、体表面の汗を乾いたタオルでふきとり、体重測定をおこなう。1 日 1 種類のトレーニングウェアを着用して、連続した 3 日間同一時刻に実験はおこなわれ、異なった 3 種のトレーニングウェアの上述の生理的反応や衣服気候に対する影響を観察する。

3 種類のトレーニングウェアによる実験を終了した後、「貴女はとくに運動後安静期間中どのトレーニングウェアを最も快適と感じたか」という質問を各被験者におこない、3 種類のトレーニングウェアについて快適さの順位づけをおこなってもらった。

3. 結 果

表 2 は、実験終了後に、被験者に 3 種類のトレーニングウェアを desirable, neutral, undesirable と分類して順位づけをおこなってもらった結果である。

表 2 Which garment do the subjects prefer during recover period ?

Garments	Estimation		
	desirable	neutral	undesirable
Acryl	1	3	4
Acryl treated with hydroscopic properties	2	3	3
Cotton	5	2	1

The figures mean the number of subjects.
T_a : 16°C, RH : 65%

数字は被験者の数をあらわしている。表からわかるように、綿のトレーニングウェアを desirable と評価した被験者が 8 人中 5 人で明らかに多い。アクリル、親水性を付与したアクリルのトレーニングウェアの間には差を認め難い。

図 1 には、30 分間の運動中の直腸温の上昇の程度（図の左段）と、運動後 30 分間の安静期間中の直腸温の降下の程度を（図の右段）を、3 種類のトレーニングウェア間で比較してある。

運動中の直腸温の上昇の程度は、綿で小さい傾向が認められるが、3 種類の衣服間に有意差を見出すことができない。運動後安静時の直腸温の降下は、綿で有意に低い。アクリル、親水性を付与したアクリルの間には差は存在しない。綿のトレーニングウェア着用時には、運動後安静時の直腸温の降下が両アクリルトレーニングウェア着用時に比較して有意に小さいのである。

図 2 には、30 分間の運動中の平均皮膚温の上昇の程度（図の左段）と、運動後安静期間中の平均皮膚温の降下の程度（図の右段）を、3 種類のトレーニングウェア間で比較してある。

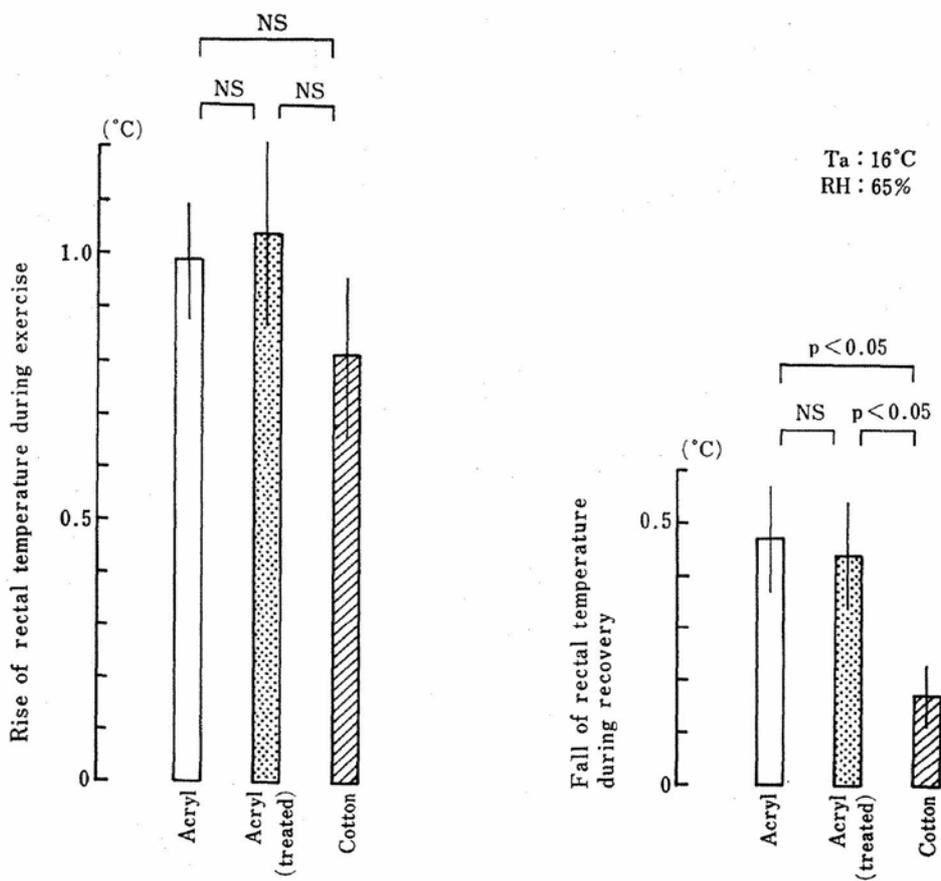


Figure 1 Rise and fall of rectal temperatures during exercise and recovery period, respectively, under the influences of three kinds of training wear. Ta : 16°C, RH : 65%

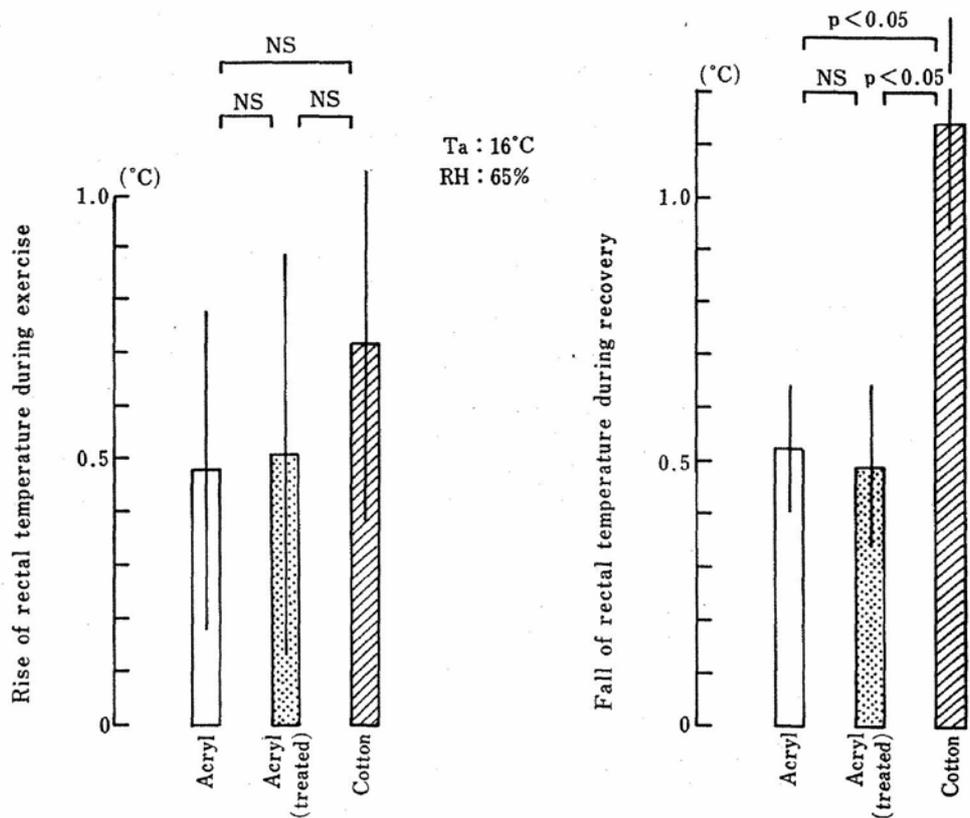


Figure 2 Rise and fall of mean skin temperatures during exercise and recovery period, respectively, under the influences of three kinds of training wear. Ta : 16°C, RH : 65%

図に示されているように、運動中の平均皮膚温の上昇の程度には衣服間に有意な差は存在しないが、運動後安静期間中の平均皮膚温の降下の程度は、綿のトレーニングウェア着用時に比較して有意に大きいのである。

以上観察したように、直腸温、平均皮膚温は、綿トレーニング着用時に、両アクリルトレーニング着用時に比較して異なった反応を示すことがわかった。

そこで、運動後安静期の30分間に注目して、その間の時間的変動を表わしているのが図3である。

図の上段には直腸温、図の下段には平均皮膚温の変化を示す。いずれも運動終了時の30分めの値を0としており、その値から何度降下するかという表現で示されている。

図から明らかなように、直腸温の降下は綿で明らかに小さい。両アクリル間ではほとんど差がない。一方、平均皮膚温は綿着用時に最も大きく降下し、30分間の安静期間中に平衡に達していない。両アクリル間を比較すると、安静終了時の30分めには同じ値を示すが、それまでに達する期間には、親水性を付与したアクリルにおいて降下の程度が最も小さい傾向が観察される。

次に、背中レベルで測定した衣服内温度ならびに背中皮膚温の変化を運動後安静期間で観察したものが図4である。

図4から明らかなように、衣服内温度は綿着用時に有意に大きく降下している。両アクリル間には差は存在しない。背中皮膚温の降下の程度は、3種類の衣服間に有意な差は存在しないが、綿着用時に大きく降下する傾向が認められる。

図5は、衣服内温度と背中皮膚温の運動中および運動後安静期間中の時間的変化を表わしている。

本図で注目すべきことは、綿着用時に、衣服内

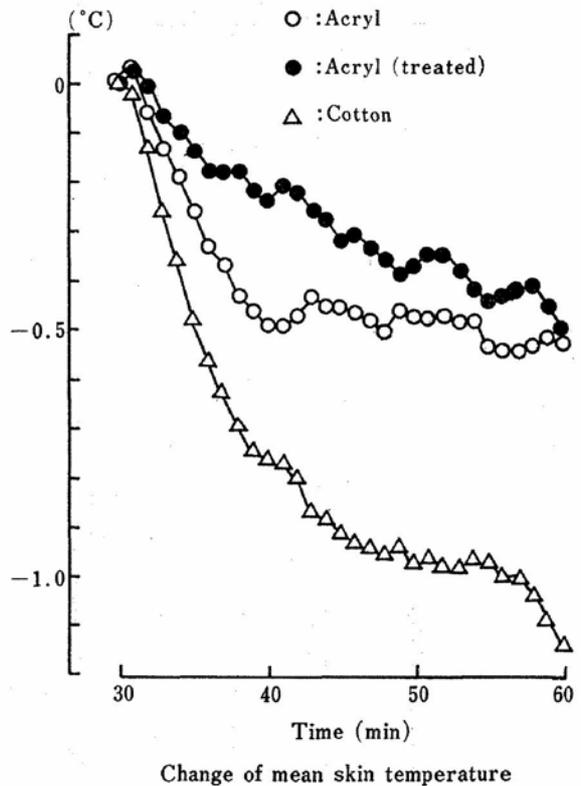
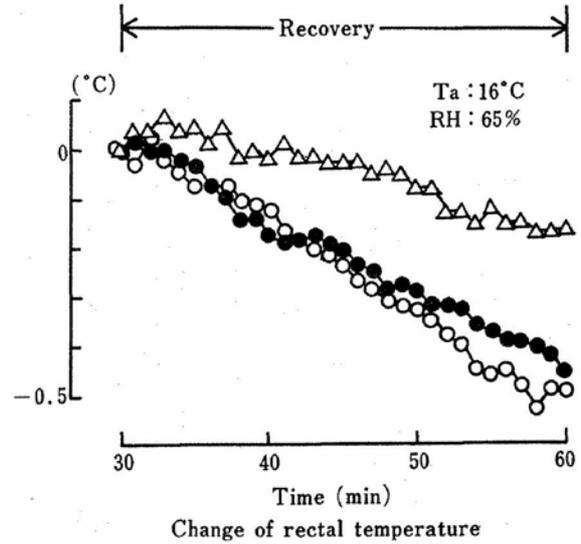


図3 Temporal changes of rectal and mean skin temperatures during recovery period under the influences of three kinds of training wear. T_a : 16°C, RH: 65%

温度が運動後安静期間中に著明に下降することである。両アクリルでは安静期間の後半に上昇の傾向が観察される。これらの衣服内温度の変化を反映して、背中の皮膚温も綿着用時に最も大きく降下し、両アクリルでは後半に上昇に転じている。

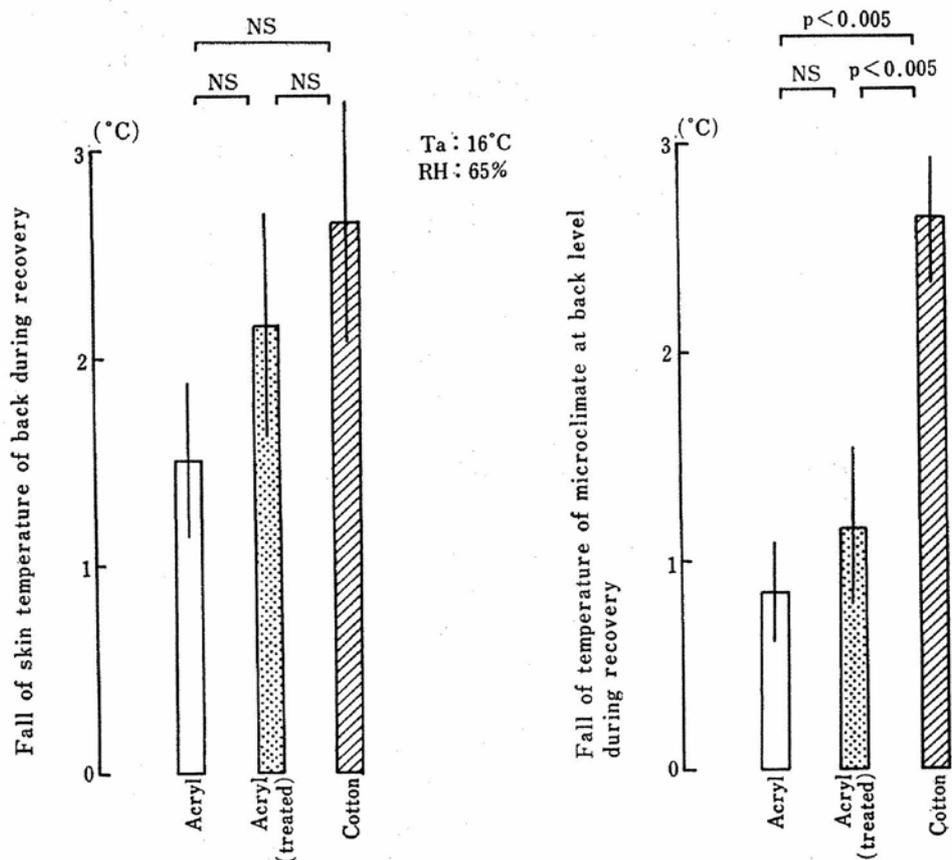


図4 Fall of back skin temperatures and microclimate temperatures measured at back level during recovery period under the influences of three kinds of training wear. T_a : 16°C, RH: 65%

4. 考 察

表2に示されているように、大半の被験者は綿のトレーニングウェアを desirable と評価している。その根底にどのような生理学的基礎が存在するのであろうか。3種類のトレーニングウェアを比較して得られた主要な知見は、

- 1) 運動後安静期間中の直腸温の下降の程度は、綿トレーニングウェア着用時に、両アクリル着用時に比較して有意に小さいこと、
- 2) 運動後安静期間中の平均皮膚温の下降の程度は、綿トレーニングウェア着用時に両アクリル着用時に比較して有意に大きい。

とまとめられよう。綿のトレーニングウェアに高い評価が集中したことと、前述の1), 2)の生

理学的事実と関連づけて考えることができるのであろうか。

このことを考察する前に、なぜ綿着用時に直腸温の降下が小さく、平均皮膚温は逆に大きく低下したのかについて考えてみたい。なお、30分間の運動終了時点での直腸温は、綿で $38.76 \pm 0.30^\circ\text{C}$ (8人の被験者の平均値 \pm SD)、アクリルで $39.03 \pm 0.23^\circ\text{C}$ 、親水アクリルで $39.00 \pm 0.29^\circ\text{C}$ であり、衣服間に有意差は存在しない。同じ時点での平均皮膚温は、綿で $32.09 \pm 0.84^\circ\text{C}$ 、アクリルで $32.03 \pm 0.63^\circ\text{C}$ 、親水アクリルで $32.11 \pm 0.93^\circ\text{C}$ であり、同じく衣服間に差は存在しない。しかし、その後の30分間の安静期間中の直腸温と平均皮膚温の behavior において、綿が特異な存在を占めるわけである。

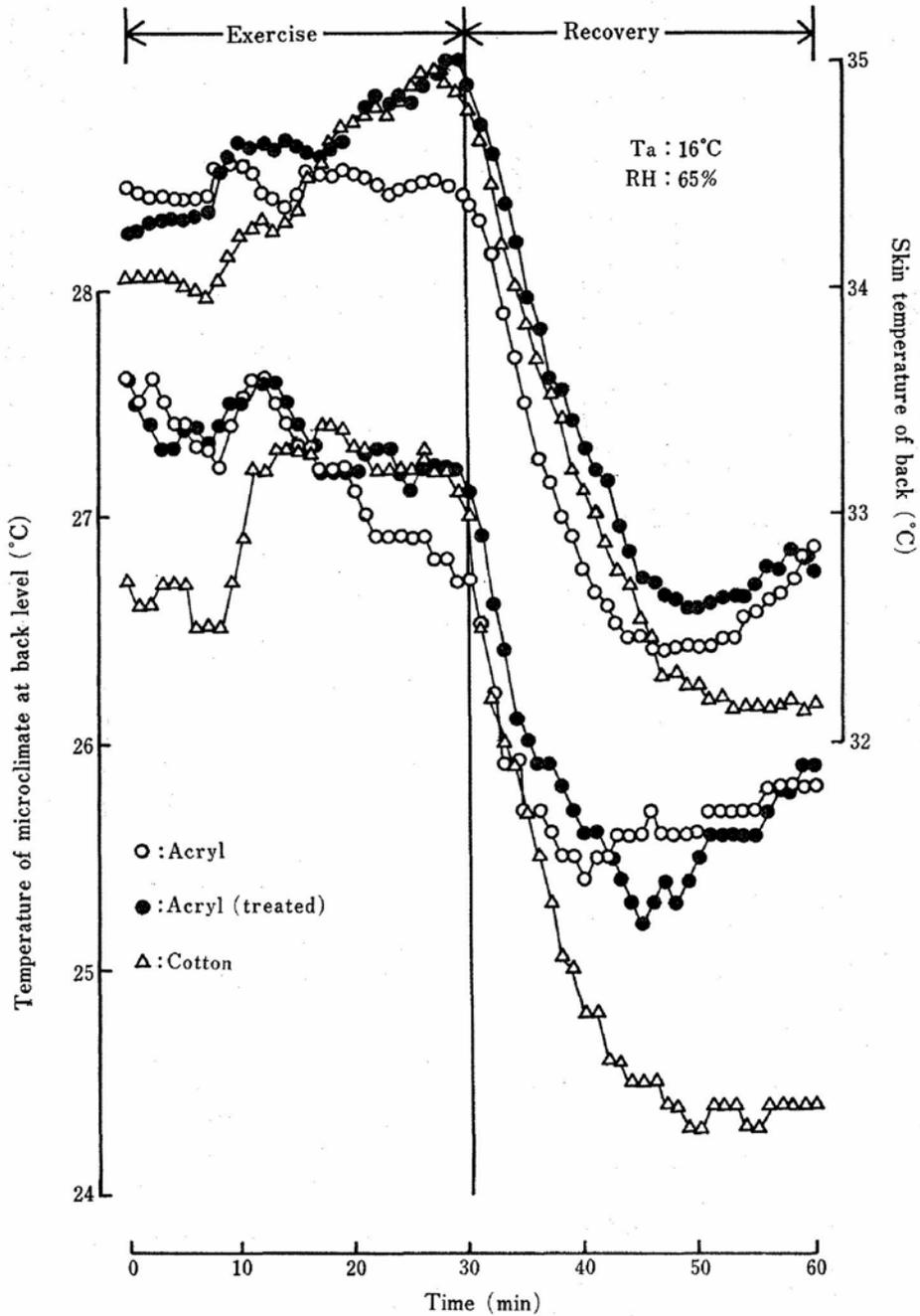


図5 Temporal changes of back skin temperatures and temperatures of microclimate measured at back level during exercise and recovery period under the influences of three kinds of training wear. $T_a: 16^\circ\text{C}$, $\text{RH}: 65\%$

その原因として、トレーニングウェアの水分状態が関与しているのではないかと考え、着用実験時に衣服がどの程度の水分を吸収するかをみてみた。

環境温 16°C 、相対湿度 65% 下で、本実験と同じ運動負荷で30分間の運動終了後、ただちに脱衣

して衣服重量を測定したところ、アクリルが54g、親水アクリルが60g、綿が48gの水分吸収量を示した。皮膚上の残留水分量は、アクリルが8g、親水アクリルが6g、綿が9gであった。このことは、運動中に綿が水分を多く吸収したのではないことを示している。

次のような実験をおこなってみた。

16°C, 65% RH の環境下で, 被験者の背部中央に一定量の水分を付着させた後, ただちにトレーニングウェアを着用して30分間安静にしていた時のトレーニングウェアの背部の水分率を, Moisture Monitor (Model M-200) を用いて1分ごとに測定して, 3種類の衣服間で比較してみた結果を図6に示す。

3種類のトレーニングウェアの水分率の最高値を0として表わしてある。

親水性アクリルの水分率は急速に低下するのに対して, 綿の水分率の値が低下しにくいことがわかる。

図7は, 運動後安静期間中の衣服内温湿度を, 人工気象室を使用してシュミレートした際のトレーニングウェアの水分率の変化である。

運動終了直後の衣服内温湿度を 28°C, 90% RH として, この値を30分かけて徐々に 26°C, 40% RH まで下降させた。この実験は, 被験者

がトレーニングウェアを着用するのではなく, ウェアを人工気象室のベットバランス上に置き実施した。

本図においても, 親水性アクリルの水分率はすみやかに低下するが, 綿の水分率は低下が遅いことがわかる。

トレーニングウェアを水に浸した後, 表面の水滴をふきとり, 最初の重量を water content 100%にした後の重量の減少を%で示した結果が図8である。

本図から, 綿の放湿性が最も劣るということがわかる。

運動後安静期間に綿着用時に平均皮膚温の降下が最も大きかったが, それはどの部位の皮膚温の降下に依存するのであろうか。軀幹部であろうか。末梢部位であろうか。それを知るために, 軀幹部として胸と背中中の皮膚温に, 末梢部位として手背と足背の皮膚温に注目して表わしたのが図9である。

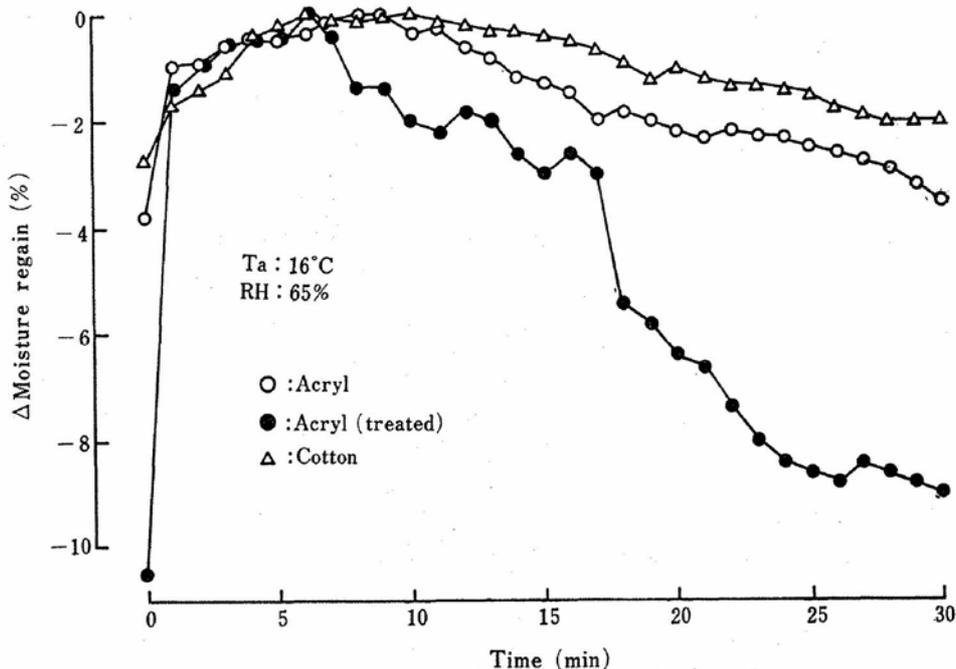


図6 Temporal changes of moisture regain of back areas in three kinds of training wear. O: maximum values of moisture regain in each garment. T_a : 16°C, RH: 65%, See text for further explanation.

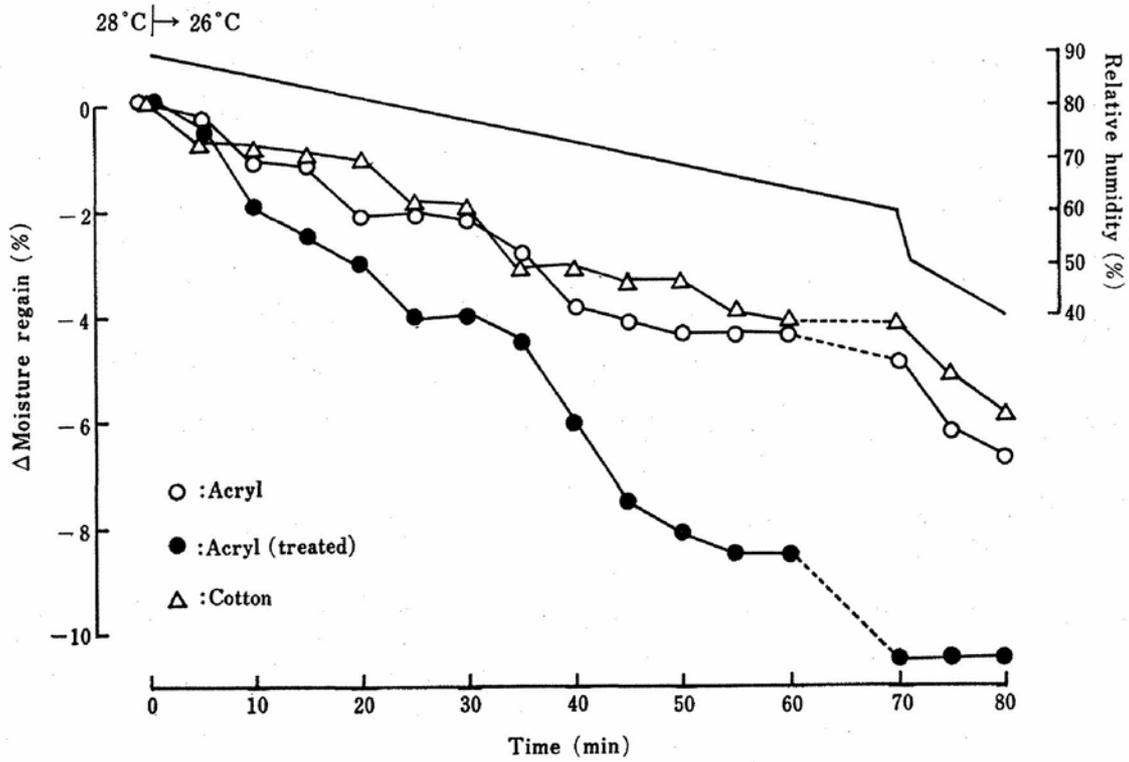


図7 Temporal changes of moisture regain of back areas in three kinds of training wear. Ambient temperature and relative humidity are changed gradually from 28°C and 90% to 26°C and 40%, respectively. O: maximum values of moisture regain in each garment. See text for further explanation.

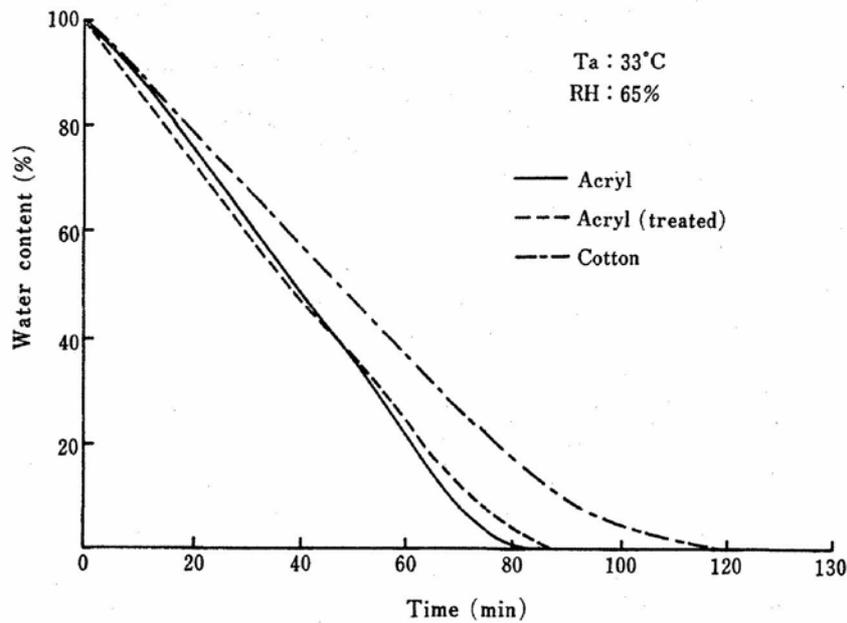


図8 Temporal changes of water content in three kinds of training wear. 100% : the state of each garment having maximum water content. Ta: 33°C, RH: 65%. See text for further explanation.

図から明らかなように、綿着用時には軀幹部において大きく皮膚温が下降するが、末梢部位においてはそのような傾向は存在しない。このことは、運動後安静時の平均皮膚温の綿着用時の大きな降下に対して、少なくとも1部には軀幹部の皮膚温が貢献していることを示している。

図6, 7, 8, 9の結果から、運動後安静期間中に平均皮膚温の綿着用時の大きな降下の原因として、綿トレーニングウェアの乾きにくさ、放湿性の悪さのために布の熱伝導率が高まり、そのため、衣服内温度が両アクリルに比較して大きく下降する。その結果、皮膚の冷受容器が刺激され、

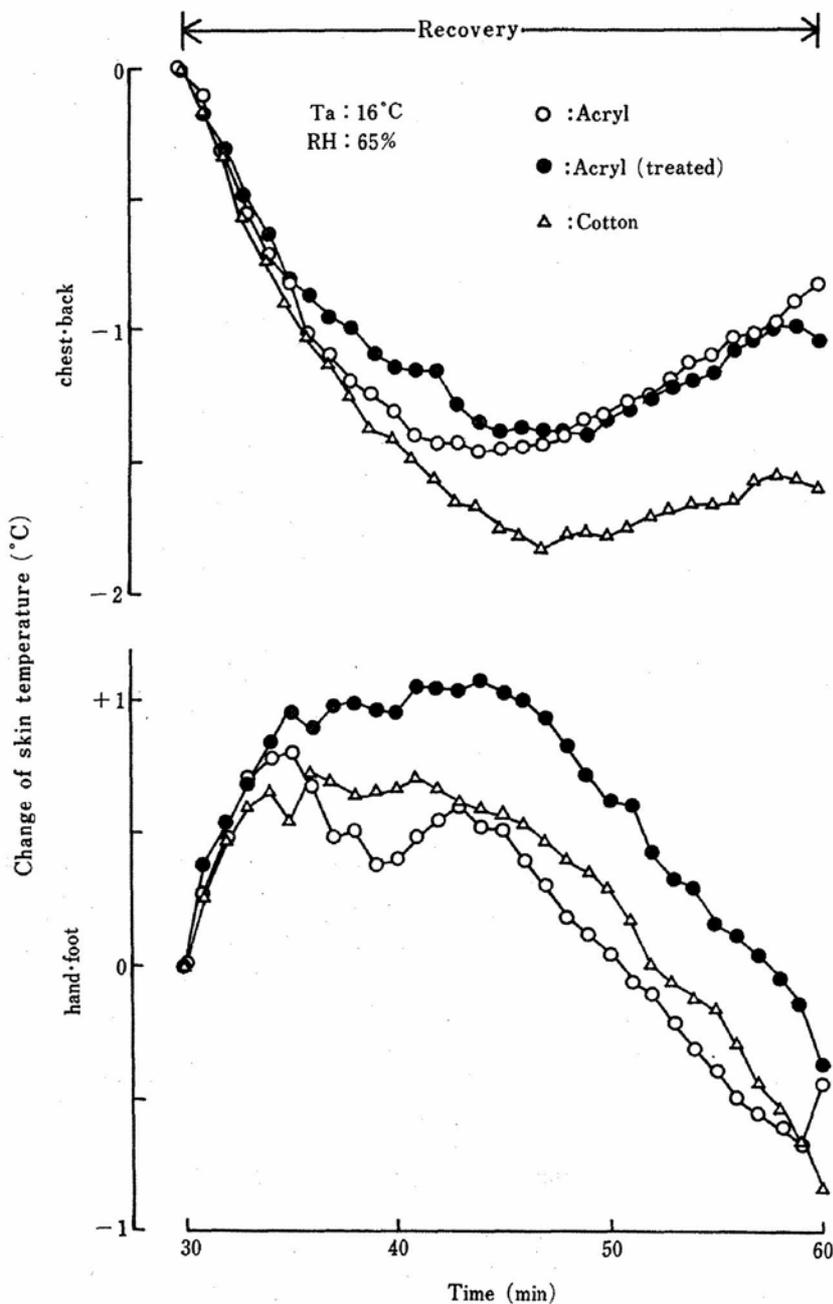


図9 Temporal changes of skin temperatures in trunk (chest+back) and extremities (hand+foot) during recovery period. Ta : 16°C, RH : 65%

血管運動中枢が興奮し、皮膚血管の収縮が起こり、皮膚血流量が減少し、皮膚温が下降する。以上のようなメカニズムが、綿着用時の平均皮膚温降下が大きいという現象の背景に介在していたのではないかと考える。

綿着用時に直腸温の降下が小さかったことは、体温調節の core と shell の概念¹⁾ から容易に説明がつく。綿着用時には皮膚温の大きな低下でわかるように、shell の拡大が起こっていたと考えられる。その結果、体から衣服を通しての dry heat loss が減少し、直腸温の降下が小さかったと考えられる。

防寒服で顔面も含めて全身を被覆すると、皮膚温の低下が起こらず、そのため、internal conductance が低下せず、結局直腸温の大幅な降下が発生する²⁾。また、体の放熱のコントロールに重要な役割をもつ手を手袋で被覆すると、手からの放熱量が逆に増大するという報告³⁾ と共通のメカニズムが、今回の我々の現象のなかに含まれていたと考える。

最後に、綿着用時に desirable と感じた被験者が多かった理由について考察したい。

2つの可能性が存在する。

温熱的快不快は、皮膚温だけで決定されるのではなく、深部体温いかににより、皮膚に加えられた温熱刺激を快にも感じ不快にも感じる⁴⁾。すなわち、直腸温 36.3~36.6°C の低体温時には、手の加えられた 40°C の刺激を快と感じるが、直腸温 37.1~37.8°C の高体温時には、手に加えられた 15~20°C を快と感じ 40°C を不快と感じるという。

これらのことを考慮すると、運動後安静時に綿着用時に直腸温が低下しにくかった。つまり高体温が維持されていたのであるから、皮膚温が最も下降した綿着用時に快と感じたのではないかとということである。

第2の可能性は、両アクリル着用時に運動後30分間の安静期間に 0.5°C 直腸温が降下したのに対して、綿着用時には 0.2°C の直腸温の降下でしかなかったことにその原因を求められるかもしれない。体温が降下することは、産熱量と放熱量のバランスが乱れ、放熱量が産熱量を凌駕した結果である。両アクリル着用時に直腸温の降下が急激であったことは、放熱量が産熱量を上まわる程度が大きく、急激であったことを意味している。深部温の急激な降下が不快感を誘引するという報告⁵⁾もあることから、綿着用時に desirable と感じる被験者が多かった背景には、上記のようなメカニズムが存在するのかわからない。

5. 総 括

16°C, 65% RH という寒冷環境において、トレーニングウェアの素材の差異が、運動時および運動後の体温調節反応にどのような影響を及ぼすかを観察するため、次のような実験を企画した。

被験者は、トレーニングウェアと靴下を着用し、約1時間安静後エルゴメータで 78W の運動を30分間行ない、続いて30分間安静を保つ。この間体重減少量、全身8ヶ所の皮膚温、直腸温、背中の衣服内温度を連続測定した。実験終了後、3種類のトレーニングウェアを desirable, neutral, undesirable に順位づけを被験者におこなってもらった。主要な結果は次のとおりである。

(1) 直腸温と平均皮膚温は運動中上昇し、運動後下降する。運動後安静期の直腸温の下降度は綿 0.17°C, アクリル 0.47°C, 親水アクリル 0.44°C であり、綿と両アクリルの間に有意な差が存在した。逆に平均皮膚温の下降度は綿 1.14°C, アクリル 0.52°C, 親水アクリル 0.49°C で、綿着用時に最も大きく、綿と両アクリルの間に有意な差が存在した。

(2) 衣服内温度の運動後安静期の下降度は、綿

2.63°C, アクリル 0.85°C, 親水アクリル 1.16°C
で, 綿と両アクリルの間に有意な差が存在した.

(3) 実験終了後, 被験者は 8 人中 5 人が綿を
desirable として評価した.

運動終了後の安静期に, 綿着用時に直腸温下降
が最も小さかったメカニズムは, 綿の熱伝率が布
の湿潤のため高まり, そのため衣服内温度が下が
り, 皮膚冷受容器が刺激され, 皮膚血管の収縮,
皮膚血流量の減少, 皮膚温の低下が起こり, dry
heat loss が抑制されたことに主な原因が求めら
れると考察した. さらに, 綿トレーニングウェア
を高く評価する者が多かった背景にも, この深部
体温の変動の少なさと関連があると考察した.

恒温動物であるヒトにとって, 少なくとも安静
時には, 深部体温の急激な変動は不快感を
誘引するうえで密接な関連があるのではないだろ
うか. 寒冷下における快適な衣服とは, 体温調節
にとって皮膚温の変動は生理的意義を有してい
るので, 皮膚温の変動をできるだけ抑制するとい
うのではなく, 調節されるべき深部体温の急激な
変化を避けるという視点に立って設計されなければ
ならないことを今回の結果は示唆している.

文 献

- 1) Aschoff, J. and Wever, R.; Kern und Schale im
Wärmehaushalt des Menschen. *Naturwissens-
chaften*, 45 : 477—485 (1958)
- 2) Burton, A.C. and Edholm, O.G.; Man in a Cold
Environment, 1st Ed., Edward Arnold, London,
90—106 (1955)
- 3) 平田耕造, 永坂鉄夫, 平井敦夫, 平下政善, 高畑
俊成; 直接カロリメータによる運動中の手からの
熱放散量—熱放散量の変化からみたスポーツウエ
アの検討. *デサントスポーツ科学*, 2 : 98—104
(1981)
- 4) Chatonnet, J. and Cabanac, M.; The perception
of thermal comfort. *Int. J. Biometeorol.*, 9 :
183—193 (1965)
- 5) Chatonnet, J., Thiers, H., Cabanac, M. and
Pasquier, J.; Sur l'origine de l'impression con-
sciente de confort thermique. *Lyon méd.* 50 :
1387—1392 (1966). cited from Hensel, H.;
Thermoreception and Temperature Regulation,
Academic Press, London, 174 (1981)